

# Теория и конструкция сушил.

## Теория сушки.

**Таб. 1.**

[illegible]

том случае, когда потоку теплого легкого воздуха будет дано нисходящее направление, остывший же тяжелый, влажный воздух будет удаляться снизу в дымовую трубу.

Если взять совершенно сухой воздух и той же температуры влажный воздух, то мы увидим, что влажный воздух легче сухого. Поэтому в сушильных приборах воздух, вступающий в сушило и скопляющийся под его потолком, должен быть более высокой температуры, чем воздух, собирающийся у пода сушила и удаляемый в дымовую трубу. Соотношение температур воздуха, вступающего и покидающего сушило, или температур под потолком и у пода сушила нетрудно найти из сравнения весов сухого и влажного воздуха (Табл. II).

Последние две колонки таблицы 1-й дают нам соотношение температур сухого и влажного воздуха, когда веса куб. м. их одинаковы. Влажность сырого воздуха взята в 100<sup>0</sup>/. При меньшей влажности воздух той же температуры будет тяжелее, чем при влажности в 100<sup>0</sup>/%.

В руководствах по сушке продуктов сельского хозяйства, дерева и проч. материалов обыкновенно указывается максимальная температура сушки, когда продукт начинает портиться. Если принять эту температуру за температуру вступающего в сушило теплого воздуха или температуру у потолка сушила, то по кривой (График 2) нетрудно найти температуру воздуха при 100<sup>0</sup>/% влажности, вес куб. метр. которого будет ему равен. Таким образом мы найдем температуру у пода сушила, или температуру влажного воздуха, покидающего сушило. Если насыщение воздуха влажностью меньше 100<sup>0</sup>/%, то такой полусырой воздух при этой температуре тяжелее воздуха, достигшего полной влажности и, следовательно, тоже опустится на под сушила и не нарушит правильности его работы.

Вот некоторые, взятые из руководств температуры сушки и найденные указанным путем температуры воздуха, вступающего  $t_{\max}$  и покидающего  $t_{\min}$  сушило (Таблица 2).

Таб. II.

Предметы сушки	$t_{\max}$	$t_{\min}$	Предметы сушки.	$t_{\max}$	$t_{\min}$
	°C	°C.		°C.	°C.
Дрова . . . . .	160	81,3	Кожа хром . . . . .	60	47,0
Мелкий лес . . . . .	90	61,6	» юфти . . . . .	35	30,2
Крупный лес . . . . .	50	40,8	» подошв. . . . .	25	22,2
Столярный лес . . . . .	40	34,0	Картоф. и овощи . .	90	61,6
Хлеб на помол . . . . .	75	55,0	Крахмал . . . . .	50	40,8

Таким образом мы находим верхний предел температур внутри сушила. Нам предстоит решить вопрос о наивыгоднейшей температуре сушки.

Назовем соотношение между количеством тепла в паре влажного воздуха ко всему количеству тепла во влажном воздухе — „коэффициентом полезного действия сушки“. Это будет величина несколько большая коэффициента полезного действия сушила, ибо не приняты в расчет расход на нагрев сушеного предмета до температуры сушки и лучеиспускание стен сушила.

Таблица III, вычисленная для случая 75% влажности дает нам совершенно определенный ответ на поставленный вопрос.

Таб. III.

t min. °C.	Частич. вес сухо- го воздуха в м³ влаж. воздуха при 75% Кгр.	Частич. вес пара в м³ воздуха при влажн. 75% Кгр.	Влажность (1 кгр) сухого воздуха в кгр.	Теплота в 1 кгр. пара в Cal.	Количество теп- ла в паре в Cal.	Количество теп- ла в 1 кгр. су- хого возд. Cal.	Сумма теплот пара и воздуха в Cal.	Коэфф. полезн. действия сушки в %.
20	1,1847	0,0128	0,0108	612,60	6,20	4,75	10,95	56
25	1,1576	0,0170	0,0147	614,12	9,03	5,94	14,97	60
30	1,1288	0,0225	0,0199	615,65	12,24	7,12	19,36	63
35	1,1001	0,0293	0,0266	617,17	16,41	8,30	24,71	67
40	1,0673	0,0380	0,0356	618,70	22,02	9,50	31,52	70
45	1,0334	0,0487	0,0470	620,22	29,30	10,63	39,93	74
50	0,9944	0,0618	0,0621	621,75	38,6	11,9	50,5	77
55	0,9622	0,0780	0,0810	623,27	50,8	13,1	63,9	80
60	0,9311	0,0975	0,1080	624,80	67,5	14,2	81,7	82,5
65	0,8995	0,1208	0,1420	626,32	87,9	15,4	103,3	85,0
70	0,8719	0,1485	0,1875	627,85	118,0	16,6	134,6	87,5
75	0,7227	0,1823	0,2522	629,37	158,6	17,8	176,4	89,5
80	0,6649	0,2205	0,3331	630,90	209	19,0	228	91,5
85	0,5583	0,2655	0,4756	632,42	301	20	321	93,5
90	0,4597	0,3188	0,6934	633,95	440	21	461	95,0
95	0,3473	0,3808	1,0950	635,47	696	23	719	96,5
1000	0,2345	0,4515	1,9266	637,00	1249	24	1273	98,0

Полезный коэффициент сушки тем выше, чем выше температура воздуха, покидающего сушило, при условии возможного насыщения воздуха влагой, конечно.

Такое парадоксальное решение этого вопроса происходит вследствие весьма быстрого увеличения влагоемкости сухого воздуха с повышением температуры (столбец 4, табл. III).

Руководствуясь таблицей III мы можем вычислить таблицу IV и определить количество:

а) сухого воздуха, которое при данной температуре надо ввести в сушило (в кгр.) для того чтобы вывести 1 кгр. паров воды при

б) количество (в куб. м.) влажного воздуха, которое надо удалить из сушила, чтобы исполнить нужную работу при тех же условиях. (Табл. 4, граф. 4).

Таб. IV.

t min.	Частич. вес сухого воз- духа в 1 м³ влажного воз. при 75% вл. Кгр.	Частич. вес пара в 1 м³ влажного воздуха при 75% влажн. Кгр.	Влагоем- кость 1 кгр. сухого воз- духа при 75% влажн. Кгр.	Число кгр. сухого воз- духа, выво- сящее 1 кгр. пара при 75% вл. Кгр.	Число м³ влажного воздуха нужное для удаления 1 кгр. пара при 75% влажн. м³.
20°	1,1847	0,0128	0,0108	92,6	78,1
25	1,1576	0,0170	0,0147	68,0	58,8
30	1,1288	0,0225	0,0199	50,3	44,4
35	1,1001	0,0293	0,0266	37,6	34,1
40	1,0673	0,0380	0,0356	28,1	26,3
45	1,0334	0,0487	0,0470	21,3	20,5
50	0,9944	0,0618	0,0621	16,1	16,0
55	0,9622	0,0780	0,0810	12,3	12,8
60	0,9031	0,0975	0,1080	9,3	10,3
65	0,8505	0,1208	0,1420	7,0	8,3
70	0,7919	0,1485	0,1875	5,3	6,8
75	0,7227	0,1823	0,2522	4,0	5,5
80	0,6649	0,2205	0,3331	3,0	4,5
85	0,5583	0,2655	0,4756	2,1	3,8
90	0,4597	0,3188	0,6934	1,4	3,2
95	0,3473	0,3803	1,0950	0,9	2,6
100° C.	0,2345	0,4515	1,9266	0,4	2,2

Само собой понятно, что коэф. полезного действия сушики тем выше, чем больше степень влажности отработавшего воздуха. Вычислим зависимость коэффициента полезного действия сушики от степени влажности отработавшего воздуха при 55°С. Получим таблицу V.

Таб. V.

Относи- тельная влаж- ность отраб. воздуха Kp/o.	Частичный вес сухого воз- духа при t 55° и влажности K.	Частичный вес пара в 1 м³ влажного воз- духа при 55°	Влагоемкость сухого воздуха или число кгр. пара на 1 кгр. с. в.	Тепло уноси- мое паром Cal.	Тепло уносимое сухим воз- духом Cal.	Тепло уносимое влажным воздухом Cal.	Коэф. по- лезного действия сушки o/o.
100%	1,0596	0,0104	0,0098	6,1	13,1	19,2	32,0
20	1,0429	0,0208	0,0199	12,4	»	25,5	48,5
30	1,0263	0,0312	0,0304	18,9	»	32,0	59,0
40	1,0095	0,0416	0,0412	25,7	»	38,8	66,2
50	0,9929	0,0520	0,0523	32,6	»	45,7	71,2
60	0,9762	0,0624	0,0638	39,6	»	52,7	75,4
70	0,9595	0,0728	0,0760	47,5	»	60,6	78,5
80	0,9428	0,0832	0,0884	55,2	»	68,3	81,3
90	0,9261	0,0936	0,1010	63,0	»	76,1	82,7

Из этой таблицы следует, что сушить выгоднее при полном 100% насыщении парами воды отработавшего воздуха. Практика однако показывает, что это невозможно. При местном понижении температуры в некоторых уголках сушиле ниже точки росы сушимый продукт в этих местах „распаривается“ и теряет свои качества.

Вот почему насыщение отработавшего воздуха выше 75% не желательно и в таблице III совершенно правильно взята именно эта влажность.

И так рассмотрение таблиц: I и II дают нам температуру отработавшего воздуха, III — коэффициент полезного действия сушилки, IV — основы для расчета нагнетательного или всасывающего вентилятора или другого прибора; напр. дымовой трубы.

В столбце 6 таб. III помещено количество тепла пара в 1 кг. воздуха при различных температурах. Прибавив расход теплоты на лучеиспускание и на нагрев сушеного материала, мы получим данные для расчета топочных устройств.

Перейдем теперь к расчету внутренних размеров сушильной камеры и циркуляции потоков теплого воздуха вокруг отопительных устройств и сушимых предметов.

Обозначим температуру входящего сухого воздуха или максимальную температуру сушки —  $t_{\max}$ .

Температуру отработавшего сухого воздуха —  $t_{\min}$ .

Скрытую теплоту испарения:

$$\begin{array}{l} \text{при } t_{\max} \quad \lambda_{\max} \\ \text{при } t_{\min} \quad \lambda_{\min} \end{array} \quad \lambda_{\max} - \lambda_{\min} = b. \quad ^1)$$

Количество тепла, выделяемое воздухом и паром при охлаждении с  $t_{\max}$  до  $t_{\min}$  —  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \dots$

Количество испаренной при каждом подогреве воды —  $q_1, q_2, q_3, \dots$

Теплоемкость воздуха 0,2375

Далее обозначим  $q_1 + q_2 + q_3 + \dots = Q$  = влажности воздуха при 75% насыщения и  $t_{\min}$ .

*1-ое насыщение.* Теплый воздух, охлаждающийся от  $t_{\max}$  до  $t_{\min}$  выделит тепла:  $\Theta_1 = (t_{\max} - t_{\min}) \cdot 0,2375 = a \text{ Cal}$ . Этим теплом он испарит влажности:  $q_1 = \frac{a}{\lambda_{\min}}$

*2-ое насыщение.* Вторично подогретый и остуженный воздух выделит тепла:  $\Theta_2 = a + \frac{a}{\lambda_{\min}} (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) = a + \frac{ab}{\lambda_{\min}} = a \left( 1 + \frac{b}{\lambda_{\min}} \right)$ .

<sup>\*)</sup>  $\lambda = 606,5 + 0,305 t$ .

Он испарит воды  $q_2 = \frac{a}{\lambda_{\min}} \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)$  Всего воды в нем  $q_1 + q_2 = \frac{a}{\lambda_{\min}} + \frac{a}{\lambda_{\min}} \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right) = \frac{a}{\lambda_{\min}} \left\{1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)\right\}$ .

3-е насыщение. Третий раз подогретый и охлажденный воздух выденит тепла:  $\Theta_3 = a + \frac{ab}{\lambda_{\min}} \left\{1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)\right\}$  Он испарит воды  $q_3 = \frac{a}{\lambda_{\min}} + \frac{ab}{\lambda_{\min}^2} \left\{1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)\right\}$ . Всего воды в нем  $q_1 + q_2 + q_3 = \frac{a}{\lambda_{\min}} + \frac{a}{\lambda_{\min}} \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right) + \frac{a}{\lambda_{\min}} + \frac{2ab}{\lambda_{\min}^2} + \frac{ab^2}{\lambda_{\min}^3} = \frac{a}{\lambda_{\min}} \left\{1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right) + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)^2\right\}$ .

$n$ -ое насыщение.  $n$ -раз подогретый и охлажденный воздух будет заключать влажности:  $Q = \frac{a}{\lambda_{\min}} \left\{1 + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right) + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)^2 + \dots + \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)^{n-1}\right\} = \frac{a}{\lambda_{\min}} \frac{\left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)^n - 1}{\left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right) - 1} = \frac{a}{b} \left\{\left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)^n + 1\right\} \dots \dots \dots *$

$Q$  есть содержание паров воды в кгр. отработавшего воздуха при принятой влажности и температуре  $t_{\min}$ .

$n$  — есть число насыщений нужное для достижения принятой влажности, т. е. число подогревов, которые должен испытать воздух, чтобы насытиться влагой до степени 75% его влажности ранее, чем выйти из сушила.

Ниже мы увидим, что нагревательные аппараты располагаются в сушиле так, что возбуждают в нем непрерывную циркуляцию воздуха. Определенное по этой форме  $n$  дает нам указание, сколько раз воздух должен обмыть сушимый предмет раньше, чем удалиться из сушила.

Из выражения \*) получим  $1 + \frac{Qb}{a} = \left(1 + \frac{b}{\lambda_{\min}}\right)^n$ .

$$n = \frac{\lg \left( 1 + \frac{Qb}{a} \right)}{\lg \left( 1 + \frac{b}{\lambda_{\min}} \right)} = \frac{\lg \left( 1 + Q \frac{606,5 + 305 t_{\max} - 606,5 - 0,305 t_{\min}}{0,2378 (t_{\max} - t_{\min})} \right)^1}{\lg \left( 1 + \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{\lambda_{\min}} \right)}$$

$$= \frac{\lg(1 + 1,284 Q)}{\lg \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}}$$

Таб. VI

$t_{\max}$ , °C	$t_{\min}$ , °C	Вес 1 м³ пара при $t_{\min}$ и 75% влажн. Крп.	Вес 1 м³ сырого воздуха при $t_{\min}$ и влажн. 75% Крп.	Q при $t_{\min}$ и 75% вл. Крп.	$\lambda_{\max}$ Cal.	$\lambda_{\min}$ Cal.	$1 + 1,284 Q$	$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}$	$\lg(1 + 1,284 Q)$	$\lg \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}$	n выпященное.	Абсолютная Ошибка.	Относительная	n согласно с графиком VI.
10°	9,0°	0,0065	1,250	0,0052	609,6	609,4	1,0066	1,0003	0,00286	0,00013	20	+20	100%	12,0
20	17,9	0,0109	1,210	0,0090	612,6	612,0	1,0114	1,0010	0,00492	0,00043	11,4	3,5	35	11,5
30	26,3	0,0180	1,170	0,0154	615,7	614,5	1,0197	1,0019	0,00847	0,00083	10,0	1,4	14	11,1
40	34,0	0,0278	1,132	0,0246	618,7	616,9	1,0316	1,0029	0,01351	0,00126	10,7	1,1	10	10,7
50	40,8	0,0399	1,100	0,0363	621,8	619,0	1,0465	1,0045	0,01974	0,00195	10,1	0,7	7	10,3
60	47,0	0,0549	1,068	0,0514	624,8	620,8	1,0660	1,0063	0,02776	0,00273	10,1	0,6	5,5	9,9
70	52,5	0,0690	1,040	0,0663	627,9	622,5	1,0850	1,0086	0,03543	0,00372	9,6	0,4	4,2	9,6
80	57,3	0,0871	1,015	0,0858	630,9	623,9	1,1102	1,0110	0,04540	0,00475	9,5	0,3	3,3	9,4
90	61,6	0,1039	0,990	0,1049	634,0	625,3	1,1349	1,0139	0,05496	0,00600	9,2	0,24	2,7	9,2
100	65,3	0,1208	0,971	0,1244	637,0	626,5	1,1597	1,0167	0,06435	0,00719	9,0	0,22	2,5	9,0
110	68,7	0,1427	0,944	0,1512	640,1	627,5	1,1940	1,0200	0,07700	0,00860	8,9	0,20	2,3	8,8
120	71,7	0,1583	0,928	0,1706	642,1	628,3	1,2191	1,0236	0,08604	0,01014	8,5	0,18	2,1	8,6
130	74,6	0,1791	0,908	0,1972	646,2	629,2	1,2531	1,0270	0,09798	0,01157	8,4	0,16	1,9	8,4
140	77,0	0,1970	0,890	0,2913	649,2	630,9	1,2841	1,0305	0,10860	0,01305	8,3	0,15	1,8	8,2
150	79,3	0,2126	0,876	0,2427	652,3	630,6	1,3114	1,0344	0,11773	0,01469	8,0	0,14	1,8	8,1
160°	81,3°	0,2335	0,855	0,2731	655,3	631,4	1,3505	1,0378	0,13050	0,01612	8,0	0,13	1,6%	8,0

На основании этой формулы вычислена таблица VI и построена соответствующая кривая (граф. 6), с указанными черточками, возможными ошибками вычисления.

Рассмотрение этой таблицы приводит нас к такому выводу:

1. Для того, чтобы увлажнить воздух в сушильной камере до 75% он должен быть подогрет от 8 до 12-ти раз.

2. После каждого подогрева теплый воздух подымается к потолку сушильной камеры и, насыщаясь парами воды, стынет и опускается к поду сушила.

3. Таким образом создается внутри сушила циркуляция: сверху вниз подогретого и стынувшего, снизу вверх подогреваемого воздуха.

4. Для того чтобы возбудить такую вертикально направленную циркуляцию воздуха внутри сушила, отопительные приборы надо расположить вертикально, лучше всего придав им вид вертикальных жаровых, или труб водяного или павового отопления.

5. Вертикальная поверхность жаровых труб возбуждает вдоль нее вертикальные конвекционные потоки горячего воздуха, наполняющего сушило, и дает импульс циркуляции.

6. Сушимые предметы тоже необходимо располагать вертикально или вертикальными стопами.

Так надо располагать дрова в сушиле для дров. Вертикальными стопами надо располагать решета для сушки овощей, полки для сушки кирпича и т. д.

Таким образом выясняются главные основания правильной конструкции сушил.

а) вертикальное расположение отопительных устройств и такая их конструкция, которая способствовала бы возбуждению вертикальных конвекционных потоков нагреваемого воздуха.

в) такое же расположение сушимых предметов, которое способствовало бы созданию в полости сушила между сушимыми предметами вертикальных нисходящих потоков остывших газов.

7. Количество циркулирующего воздуха в 8—12 раз должно превосходить секундный расход теплого влажного воздуха, определяемого по таблице IV.

8. Скорость циркуляции не должны быть велики, ибо импульс всей циркуляции дается разностью весов воздуха при  $t_{\min}$  и  $t_{\max}$  т. е. величиной весьма незначительной. Поэтому вертикальные циркуляционные каналы должны быть широки и рассчитаны в зависимости от объема циркулирующих газов.

9. Расход тепла на нагрев сушимых материалов и лучеиспускание должны быть по возможности меньше. Покрывать этот расход можно двумя путями: а) располагая отопительные устройства у стен сушила, и делая достаточный промежуток между потолком и сушимыми предметами, можно несколько поднять температуру  $t_{\max}$ , в расчете на то, что воздух, омывая наружные стены успеет



остыть раньше, чем прийти в соприкосновение с сушимыми предметами  
в) другой путь это настолько увеличит число циркуляций, чтобы покрыть расход на лучеиспускание.

10. В случае сушки дров и леса весьма часто топочные газы вводят в сушильную камеру и ими непосредственно омывают сырые дрова. Так как сушила для дров отапливаются дровами, то в продуктах горения находится значительное количество паров воды. Эти пары воды связывают определенное количество газов влажностью 75<sup>0</sup>/<sub>100</sub>; это количество печных газов должно быть выключено из общего количества сушащего воздуха и газов, согласно с таблицей IV и введено в расчет при расчете количества циркулирующих газов.

Согласно с вышесказанным, при проектировании сушил будем исходить из следующих данных.

- а) Производительность сушила в 1 сек.
- б) Количество воды, испаряемое в 1 сек.
- в) Наивысшая температура сушки или температуре подогретого воздуха  $t_{\max}$ .
- г) Температура отработавшего воздуха  $t_{\min}$  (Таб II).
- д) Влагаемость при этой температуре воздуха при 75<sup>0</sup>/<sub>100</sub> влажности (Таб III).
- е) Количество кгр. сухого воздуха, вступающего в сушило в 1 сек. (Таб. IV).
- и) Количество м<sup>3</sup> влажного воздуха, удаляемого в 1 сек. из сушила (Таб. IV).

Собирая эти данные вместе мы можем составить следующую таблицу. (Таб. VII).

Таб. VII.

$t_{\max}$	$t_{\min}$	Количество кгр. сух. воздуха, выносящее 1 кгр. пара при 75% влажности. Кгр.	Количество м <sup>3</sup> влаж. воздуха, выносящее 1 кгр. пара 75% вл.	Число подогретов сушащего воздуха.	Проектив. количество м <sup>3</sup> циркулирующего воздуха м <sup>3</sup> .
20°C	17,9°C	104	88	11,5	1012
25	22,2	80	69	11,3	780
30	26,3	62	55	11,1	612
35	30,2	49	45	10,9	492
40	34,0	39	36	10,7	385
45	37,5	32	30	10,5	315
50	40,8	26,8	25,4	10,3	262
55	44,1	22,5	21,4	10,1	216
60	47,0	19,2	18,6	9,9	184
65	49,9	16,2	16,0	9,7	155
70	52,5	14,1	14,4	9,6	138
75	55,0	12,3	12,8	9,5	122
80	57,3	10,9	11,6	9,4	109

$t_{\max}$	$t_{\min}$	Количество кг. сух. воз- духа, выхо- дящее 1 кг. пара при 75% влажно- сти. кг.	Количество $m^3$ влаж. воздуха, вы- ходящее носящее 1 кг. пара 75% вл.	Число подо- гревов су- шащего воз- духа.	Проектив. количество $m^3$ циркули- рующего воздуха $m^3$ .
85°C	59,5°C	9,5	10,5	9,3	98
90	61,6	8,4	9,6	9,2	88
95	63,5	7,6	8,9	9,1	81
100	65,3	6,8	8,2	9,0	74
105	67,0	6,2	7,7	8,9	68,5
110	68,7	5,7	7,2	8,8	63,4
115	70,3	5,2	6,7	8,7	58,3
120	71,7	4,8	6,3	8,6	54,3
125	73,2	4,5	5,9	8,5	51,0
130	74,6	4,1	5,6	8,4	47,0
135	75,8	3,8	5,3	8,3	44,0
140	77,0	3,5	5,1	8,2	41,8
145	78,1	3,5	4,9	8,2	40,2
150	79,3	3,1	4,7	8,1	38,0
155	80,3	2,9	4,5	8,0	36,0
160	81,3	2,8	4,3	8,0	34,4

График 7 дает нам количество циркулирующего воздуха в сушиле, т. е. последнюю недостающую нам цифру для полного проекта сушила. В таб. VIII первый столбец говорит о температуре вверху сушила 11-ый о температуре внизу, 12-ый о количестве вступающего воздуха в  $\frac{\text{кг.}}{\text{сек.}}$ , 15-ый о количестве  $m^3$  удаляемого из сушила теплого влажного воздуха и 17-ый о объеме циркулирующего в сушиле воздуха в расчете на 1 кг. воды, удаляемой из сушила в единицу времени. Имея эти проектные данные, нам остается спроектировать только отопительные устройства. Исходные данные для проектирования их найдем в столбце 18-м таблицы VIII.

Таб. VIII.

$t_{max}$	Влажность 100%				Влажность 75%				$t_{min}$	Число кр. сух. воз. при 75% насыщ.				Число кр. в. воз. при 75% насыщ.				Число поворотов между сушильч.				Прокаты. число м <sup>2</sup> паркунар. в. в. три сушильч. воз.				Темп. необ. для вынос. 1 кр. влаж. воз. на сушильч. Cal			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
20°C	1,2049	0,0236	0,0170	1,1780	1,1950	0,0177	0,0125	1,1847	1,1975	17,9	104	86	106	88	11,5	101,2	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160	1160
25	1,1847	0,0320	0,0227	1,1487	1,1714	0,0240	0,0170	1,1576	1,1746	22,2	80	67	82	69	11,3	780	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120
30	1,1651	0,0429	0,0300	1,1174	1,1474	0,0322	0,0225	1,1288	1,1513	26,3	62	53	64	55	11,1	612	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
35	1,1462	0,0570	0,0391	1,0838	1,1229	0,0427	0,0293	1,1001	1,1294	30,2	49	43	52	45	10,9	492	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040
40	1,1279	0,0746	0,0506	1,0470	1,0976	0,0559	0,0380	1,0673	1,1053	34,0	39	35	41	36	10,7	385	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
45	1,1102	0,0971	0,0649	1,0065	1,0714	0,0728	0,0487	1,0334	1,0821	37,5	32	29	34	30	10,5	315	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
50	1,0930	0,1250	0,0824	0,9613	1,0437	0,0938	0,0618	0,9944	1,0562	40,8	26,8	24,5	27,9	25,4	10,3	262	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920
55	1,0763	0,1597	0,1040	0,9103	1,0145	0,1197	0,0780	0,9622	1,0402	44,1	22,5	21,0	23,2	21,4	10,1	216	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890
60	1,0601	0,2023	0,1300	0,8531	0,9831	0,1517	0,0973	0,9031	1,0006	47,0	19,2	18,1	19,9	18,6	9,9	184	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860
65	1,0445	0,2542	0,1610	0,7880	0,9490	0,1905	0,1208	0,8505	0,9713	49,9	16,2	15,5	16,9	16,0	9,7	155	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
70	1,0292	0,3169	0,1980	0,7140	0,9120	0,2378	0,1485	0,7919	0,9404	52,5	14,1	14,9	15,0	14,4	9,6	138	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820
75	1,0144	0,3922	0,2430	0,6298	0,8728	0,2940	0,1823	0,7227	0,9050	55,0	12,3	12,1	13,2	12,8	9,5	122	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820
80	1,0001	0,4821	0,2940	0,5340	0,8289	0,3615	0,2203	0,6649	0,8854	57,3	10,9	10,9	11,5	11,6	9,4	109	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820
85	0,9861	0,5887	0,3540	0,4245	0,7785	0,4415	0,2635	0,5583	0,8238	59,5	9,5	9,6	10,5	10,5	9,3	98	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820	820
90	0,9725	0,7145	0,4250	0,3003	0,7253	0,5359	0,3188	0,4597	0,7785	61,6	8,4	8,9	9,7	9,6	9,2	88	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
95	0,9593	0,8616	0,5070	0,1593	0,6665	0,6462	0,3803	0,3473	0,7276	63,5	7,6	7,9	8,7	8,9	9,1	81	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
100	0,9464	1,0383	0,6020	0,0000	0,6020	0,7749	0,4515	0,2345	0,6800	65,3	6,8	7,2	7,9	8,2	9,0	74	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
105	0,9339									67,0	6,2	6,6	7,3	7,7	9,2	68,5	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840
110	0,9217									68,7	5,7	6,2	6,8	7,2	9,4	63,4	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840
115	0,9099									70,3	5,2	5,7	6,3	6,7	9,7	58,3	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
120	0,8983									71,7	4,8	5,3	5,9	6,3	9,8	54,3	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860
125	0,8870									73,2	4,5	5,1	5,5	5,9	9,5	51,0	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870
130	0,8760									74,6	4,1	4,7	5,1	5,6	9,4	47,0	880	880	880	880	880	880	880	880	880	880	880	880	880
135	0,8653									75,8	3,8	4,4	4,8	5,3	9,3	44,0	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890	890
140	0,8548									77,0	3,5	4,1	4,5	5,1	9,2	41,8	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
145	0,8446									78,1	3,3	3,9	4,3	4,9	9,0	40,2	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910
150	0,8346									79,3	3,1	3,7	4,1	4,7	8,8	38,0	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920	920
155	0,8248									80,3	2,9	3,5	3,9	4,5	8,6	36,0	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930	930
160°C	0,8153									81,3	2,8	3,4	3,7	4,3	8,0	34,4	940	940	940	940	940	940	940	940	940	940	940	940	940

## ГЛАВА 2-Я.

## Конструкция сушил правильная и сушила уроды.

Самой распространенной ошибкой в конструкции сушил является отвод отработавших влажных газов сверху. При такой конструкции сушила, струйки сухого теплого воздуха скорее удаляются в трубу, чем остывшие, насыщенные влажностью струйки, и сушка идет очень неравномерно. В полости сушила устанавливаются пути прямой тяги вверх и глухие углы, застойных газов, где материал не сушится, а распаривается.

Правильная *равномерная* сушка возможна только при обливании сушащих предметов нисходящим потоком теплых сушащих газов, следовательно при обращенной тяге.

На основании вышеизложенного, я оставляю без рассмотрения большинство принятых на практике сушил, как построенных на ложном принципе. Первое правило, которому должно удовлетворять правильно построенное сушило состоит в том, что отработавшие газы отводятся снизу.

а). *Сушило однократного насыщения.* Прекрасная по оборудованию Крахмало-Сушилка Лемана (фиг. 1) сушит весьма неудовлетворительно, единственно потому, что насыщение в ней происходит только одинажды. Устройство ее таково: в коридоре АА движутся вагонетки ВВ с решетками с сырым крахмалом. Вентилятор нагнетает холодный воздух через боров С в камеру, где расположены трубы парового отопления. Через отверстие Е теплый воздух вступает в коридор АА и поднимается под свод его. Насыщенный парами воды остывший воздух удаляется с пода через боров.

Расчет этого сушила, не принимая в расчет потери на лучеиспускание, может быть сделан так: сухой воздух нагретый до  $50^{\circ}\text{C}$  несет в себе количество тепла равное  $11,9^{\text{cal}}/\text{кг}$  (Таб. III).

Воздух с 75% влажности содержит при  $20^{\circ}\text{C}$ —10,95 cal тепла. Следовательно температура отработавшего воздуха, не принимая в расчет лучеиспускание и нагрев крахмала и вагонеток, будет несколько выше  $20^{\circ}\text{C}$ , а, приняв их в расчет, несколько ниже  $20^{\circ}\text{C}$ . Будем считать ее в  $20^{\circ}\text{C}$ . Тогда на кг. сухого воздуха из сушила будет вынесено 0,0108 кг. воды. Полезный коэффициент сушки определится, как частное от деления количества тепла в паре на все количество тепла во влажном воздухе при  $20^{\circ}\text{C}$

$$6,2 : 10,95 = 0,56 \text{ или } 56\%$$

Количество холодного воздуха, которое должно быть нагнетано в сушило для удаления 1 кг. воды из крахмала, будет равно  $1 : 0,0108 = 92,6$  кг.

Если мы сделаем сушило многократного насыщения, то при температуре вступающего в сушило воздуха в  $50^{\circ}\text{C}$  температура отработавшего воздуха будет  $40,8^{\circ}\text{C}$ , примем в  $40^{\circ}\text{C}$  число насыщений будет 10,3 (Таб. VI). Коэффициент полезного действия сушики  $70^{\circ}$  (Таб. III) Количество сухого воздуха на 1 кгр. влажности крахмала 28,1 кгр. (Таб. VI).

Из этого примера видна выгода сушил многократного насыщения Коэффициент полезного действия, как мы видели выше, поднялся, а следовательно расход на нагрев воздуха сократился в  $70 : 56 = 1,25$  раза, а дутье в  $92,6 : 28,1 = 3,3$  раза.

Очевидно, что производительность сушила данных размеров может быть увеличена введением многократного насыщения в 3 раза.

Какова же должна быть конструкция корридорного сушила многократного насыщения. Совершенно очевидно, что эта конструкция должна обеспечить возможность сушащим газам десятикратного насыщения, т. е. должна быть приспособлена для непрерывной циркуляции десятикратного объема печных газов.

Мы видели, что 1 кгр. паров воды при  $75\%$  влажности и  $40^{\circ}\text{C}$  может быть вынесен 28,1 кгр. сухого воздуха, или согласно с таблицей IV—26,3  $\text{m}^3$  влажных, отработавших сушащих газов.

Сила движущая циркулирующей объем есть функция разности весов  $\text{m}^3$  сушащих газов при  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  и не может быть значительна, и скорость циркуляции не может быть велика. Отсюда ясно, что циркуляция печных газов в сушиле должна совершаться в направлении обеспечивающем для струи циркулирующих газов *максимальную площадь сечения*.

Для корридорного сушила это будет циркуляция в плоскости нормальной к длине сушила, как показано на фиг. 2, где плоскостью циркуляции является плоскость чертежа. Максимальная площадь сечения будет горизонтальна. Нагревающие сушащие газы трубы парового отопления ВВ должны, очевидно, быть поставлены по сторонам поезда вагонеток А с сырым крахмалом. Собирающиеся на поду остывшие влажные печные газы (воздух) нагреваются и увлекаются этими трубами вверх. Здесь они собираются под сводом, затем опускаются мимо решет с сырым крахмалом, насыщаются парами воды и опять собираются на под корридора, опять нагреваются трубами ВВ и таким образом циркулируют сверху вниз и снизу вверх.

Сушило, способное выделять из сушимого материала 0,1 кгр. воды в секунду, должно быть рассчитано на циркуляцию  $\frac{26,3 \times 10,3}{10}$  27,1  $\text{m}^3$  воздуха в секунду. Мы видели, что поднимающийся поток

сушащих газов имеет температуру  $50^{\circ}$ , а опускающийся  $40^{\circ}$ . Вес второго по табл. 1 равен  $1,105^{\text{кг}}/\text{м}^3$ . Тот же воздух нагретый до  $50^{\circ}$  будет весить

$$\frac{\frac{1,1053}{1 + \frac{40}{273}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{50}{273}}}{1 + \frac{40}{273}} = 1,071^{\text{кг}}/\text{м}^3$$

Гидростатическое давление, вызывающее циркуляцию при высоте сушила в 2 м. будет,  $\delta = 2(1,105 - 1,071) = 0,068^{\text{кг}}/\text{м}^3$  или mm воды, напор теплого воздуха, равный для воздуха в  $40^{\circ}\text{Ц}$ —  $0,034 : 1,105 \approx 0,031$  М; для воздуха в  $50^{\circ}\text{Ц}$ —  $0,034 : 1,071 \approx 0,032$  М; в сумме 0,063 М. За счет этого напора должны быть рождены скорости нисходящего и восходящего циркуляционных потоков воздуха при  $40^{\circ}\text{Ц}$  вниз и при  $50^{\circ}\text{Ц}$  вверх. При обмывании подвергающихся сушке предметов эти скорости будут утеряны несколько раз. Допустим четыре раза. Тогда на рождение каждой скорости придется около 0,015 М., т. е. скорость циркуляции будет около 0,5 м/сек. Откуда следует, что корридорная печь должна быть настолько широка, чтобы площадь сечения промежутков между вагонами и стенами удовлетворяла условию движению по ним циркулирующих газов со скоростью меньшей 0,5 метра в 1 секунду.

Тому же условию должно удовлетворять и расположение решет на вагончиках АА. Решета надо располагать стопами с большими промежутками между ними.

Устраивая так корридорное сушило, мы получим внутри его правильную циркуляцию, указанную стрелками. Мы видели, что циркулирующий объем для крахмало-сушилки равен 10,3 секундным объемам. Каким же образом выделит из циркулирующего объема эту  $1/10,3$  часть.

Правила расположения дымового канала см. ниже.

в) Из описания правильной конструкции корридорного сушила совершенно очевидна ошибка допускаемая г. Клячиным в его сушиле при углевыжигательной печи его имени. (Фиг. 3) Он располагает нагревательные приборы в яме под рельсами. Очевидно, что струи нагретых сушильных газов будут подниматься навстречу остывших между дровами, отработавших струек и правильной циркуляции в сушиле установиться не может, а следовательно не возможна правильная сушка дров и равномерное углежжение.

В интересах правильной сушки, дрова в сушиле надо располагать вертикально. Дно вагонов надо делать не сплошным, а решетчатым. От этих ошибок не избавлены углевыжигательные печи Аминова и Грендаля.

с) *Карусель для сушки картофеля Полевицкого (Фиг. 4).*

Карусель представляет колесо АА с веритикальной осью ВВ, на которое устанавливаются совершенно плотно 11 рядов полок с сырым резанным картофелем. Внизу расположены кирпичные бора ДД и кольцеобразная железная труба ЛЛ назначение коих подогреть вступающий снизу в сушило воздух. Сырой воздух отводится снизу.

Недостаток карусели тот же, что и печи Клячина. Поднимающиеся теплые струи идут навстречу опускающимся вниз, чем нарушается правильная циркуляция. Неравномерность сушки исправляется непрерывным вращением карусели. Сушка идет медленно. Сушило все заполняют сырым картофелем, высушивают и вновь заполняют сырым картофелем, ибо непрерывная сушка не удастся.

Проект этот должен быть изменен в следующем направлении (Фиг. 5).

Топочные газы из топки А, бора В и кольца железных труб СС опускаются по вертикальным железным трубам ДД в дымовой бор В, куда поступает и сработавший влажный воздух. Направление циркуляции показано стрелками.

Наружный воздух vstupает через отверстия Л. Обогревается около труб Д и поднимается к потолку сушила КК. Затем оmyвает решета с картофелем и проходит между ними в колодезь внутри карусели FF и в нижнюю часть сушила ММ. Чтобы он там не застаивался, служат каналы N которыми он вновь подводится к трубам ДД.

Расчет этого сушила показывает ошибочность тесноты существующих сушил.

Сушило большой производительности должно быть сделано по возможности более просторно, только тогда в нем может установиться правильная циркуляция, достаточно мощная, чтобы обезпечить производительность сушила.

д) *Проект сушила для столярного леса* Неравномерность оmyвания досок теплыми струями воздуха вызывает появление в досках трещин, портящих лес. Их можно будет избежать при правильном оmyвании досок нисходящими струями циркулирующего в сушиле воздуха.

На фиг. 6 представлено: две стопы досок АА, сложенных крест на крест с промежутками в ширину доски. Таким образом объем промежутков равен объему досок. Доски укладываются так аккуратно, чтобы сквозь всю стопу проходили бы вертикальные каналы в ширину доски, что обезпечивает беспрепятственное опускание струй остывшего влажного воздуха. Стопы досок сложены на прогонах ВВ, опирающихся на выступы стен и кирпичные столбы СС. Таким образом под стопой досок получается проход в рост человека и остывший влажный воздух может свободно цирку-

лировать под стопой по направлению к воздухонагревателю с чугунными трубами, поставленному в среднем отделении сушила. Воздухонагреватель состоит из тонки К и борова F, из которого топочные газы распределяются по трубам MM, опускаясь совершенно равномерно в дымовой боров NN, а из него, в дымовую трубу.

Холодный воздух вступает в боров P и, согретый в каналах RR, выходит в сушило, поднимается кверху, омывая стоны с досками, спускается через вертикальные колодцы в стопах вниз, под стопы, омывает трубы MM, согревается и поднимается опять вверх, осуществляя т. о. циркуляцию и насыщаясь парами воды.

Самый холодный влажный воздух стелется по самому полу сушила. Тут он собирается с пода отверстиями XX в дымовой боров NN и вместе с дымом выносится дымовой трубой.

е) *Сушило Ижевского завода для сушки тиглей для плавки стали.* (Фиг, 7). Сушило это работает без вентиляции. Влажность воздуха, заполняющего сушило, осаждается трубами с холодной водой, а воздух подогревается трубами парового отопления LL. Циркуляция воздуха не планомерна. Очевидно горячие струи направляются кверху навстречу влажным струям остывшего воздуха. Трубы tt расположенные наверху напрасно студят теплый воздух, собирающийся наверху. Правильная конструкция показана на фиг. 8, она понятна сама собой.

---



## ГЛАВА 3.

**Характер процесса сушки в сушилах многократн. насыщения.**

Из теории сушки следует, что в сушилах многократного насыщения циркулирует воздух при  $t_{\min}$  с влажностью до  $7/8$  и  $11/12$  предельной, установленной нами влажности в  $75\%$  т. е. с влажностью от  $65^{1/2}\%$  до  $69\%$ .

При  $t_{\max}$ , как видно из таблицы IX, влажность этого воздуха изменяется в пределах:

при  $20^\circ\text{C}$ . с  $68,5\%$  уменьшается до  $67,2\%$  при  $160^\circ\text{C}$ . с  $65,5\%$  уменьшается до  $6,2\%$ ; при средних температурах около  $90^\circ\text{C}$ . она уменьшается с  $66,9\%$  до  $22,1\%$ .

Таким образом характер сушки внизу иверху сушила существенно различны;верху сушила осуществляется сушка более резкая, внизу более мягкая.

Некоторые материалы, напр. бездымный порох, при резкой сушке дает корочку, которая не гигроскопична и потому тормозит успешность сушки. Центральные волокна пороха просыхают в этом случае очень медленно. В сушилах однократного насыщения поэтому к теплomu воздуху прибавляют нар: обыкновенно-же один и тот же воздух прогоняют через нагревательный прибор много раз, обращая сушило в сушило многократного насыщения с принудительным движением воздуха при помощи вентилятора.

Эту разнохарактерность сушкиверху и внизу сушила многократного насыщения с естественной циркуляцией должно учитывать при ответственной сушке, напр. сушке семенного хлеба. Понижение всхожести семян есть следствие спутанности наших понятий о работе сушил и поэтому малой изученности условий наиболее благоприятной сушки, сохраняющей всхожесть семян. Тоже касается сушки дерева, которая вообще плохо удается.

При сушке разнохарактерных керамических изделий нагрузка сушила должна учитывать разный *характер* сушки внизу иверху.

Другим недостатком сушки является запаривание материала, т. е. конденсация паров воды на вновь введенном в сушило холодном сыром материале. В Таб. IX в последней графе помечена точка росы циркулирующего в сушиле воздуха. При введении в атмосферу теплого воздуха холодного предмета на его поверхности, конечно, будет садиться роса.

Если например в коридорное сушило для столярного леса ввести с мороза вагон, то очевидно весь лес покроется росой, Этот недостаток можно ослабить, если приемную часть сушила, куда вводится вагон с холодным сырым материалом, снабжать более значительным числом нагревательных приборов и сюта же

Дымовой канал сушила правильно располагать ближе к тому концу коридора, через который вагоны с сухим лесом выводятся наружу. Таким образом цифры и логика убеждают нас, что в сушилках многократного насыщения принцип обратного течения не должен иметь места.

Таб. IX.

$t_{max}$	$t_{min}$	Число подогре- вов воздуха внутри сушила.	Приблизительн. влажн. воздуха перед последним подогр. при $t_{min}$	Колич. кгр. воды, содержащихся в 1 кгр. возд. при $t_{min}$ и влаж. $X\%$ .	Влажность возд. после последнего подогрева (при $t_{max}$ ).	Точка росы влаж. воздуха перед последним насы- щением.
Цельсия.	Цельсия.	n	$K\%$	Klgr.	$\%$ .	Цельсия.
20°	17,9°	11,5	68,5	0,0114	67,2	13°
25	22,2	11,3	68,4	0,0143	63,2	17
30	26,3	11,1	68,2	0,0177	59,6	21
35	30,2	10,9	68,1	0,0215	55,8	24
40	34,0	10,7	68,0	0,0267	52,8	28
45	37,5	10,5	67,8	0,0319	49,1	31
50	40,8	10,3	67,7	0,0372	45,2	34
55	44,1	10,1	67,6	0,0440	42,3	37
60	47,0	9,9	67,5	0,050	38,5	40
65	49,9	9,7	67,4	0,057	35,4	42
70	52,5	9,6	67,3	0,064	32,3	45
75	55,0	9,5	67,2	0,072	29,6	47
80	57,3	9,4	67,1	0,079	26,9	49
85	59,5	9,3	67,0	0,086	24,3	51
90	61,6	9,2	66,9	0,094	22,1	53
95	63,5	9,1	66,8	0,103	20,3	55
100	65,3	9,0	66,7	0,111	18,4	57
105	67,0	8,9	66,6	0,118	16,6	59
110	68,7	8,8	66,5	0,126	15,2	60
115	70,3	8,7	66,4	0,133	13,6	61
120	71,7	8,6	66,3	0,141	12,4	62
125	73,2	8,5	66,2	0,150	11,4	63
130	74,6	8,4	66,1	0,159	10,5	64
135	75,8	8,3	66,0	0,167	9,6	66
140	77,0	8,2	65,9	0,174	8,7	67
145	78,1	8,2	65,8	0,181	8,0	68
150	79,3	8,1	65,7	0,189	7,3	69
155	80,3	8,0	65,6	0,197	6,7	70
160	81,3	8,0	65,5	0,205	6,2	71

Для того, чтобы ослабить явление запаривания, необходимо так располагать материал для сушки, чтобы он нагревался возможно скорее.

Это достигается таким его расположением, чтобы вертикальная циркуляция воздуха могла бы осуществляться беспрепятственно. Дрова надо ставить вертикально; также вешать ткани; реше-  
та надо располагать стопами с широкими прометутками между

Плотное расположение материалов, подвергающихся сушке, трудная проницаемость их для вертикальной циркуляции, неправильное расположение отопительных устройств способствует запариванию и порче материалов, подвергающихся сушке.

---

Означенная работа решает в корне вопрос о правильной конструкции и расчете сушил. Происхождение этой работы таково: лет десять назад инж. К. К. Адамецкий показал мне свою конструкцию сушил многократного насыщения, на которую им была взята привелегия; но оно было громоздко и распространения не получило. В этом году мой ученик инж.-мет. Н. Н. Шадрин помог мне вывести формулу для определения числа насыщений, а мой сын С. Грум-Гржимайло определил степень точности этой формулы и вычислил все таблицы этого руководства. Таким образом этому коллективному труду была дана форма краткого, но исчерпывающего вопроса руководства.

---



График № 1.

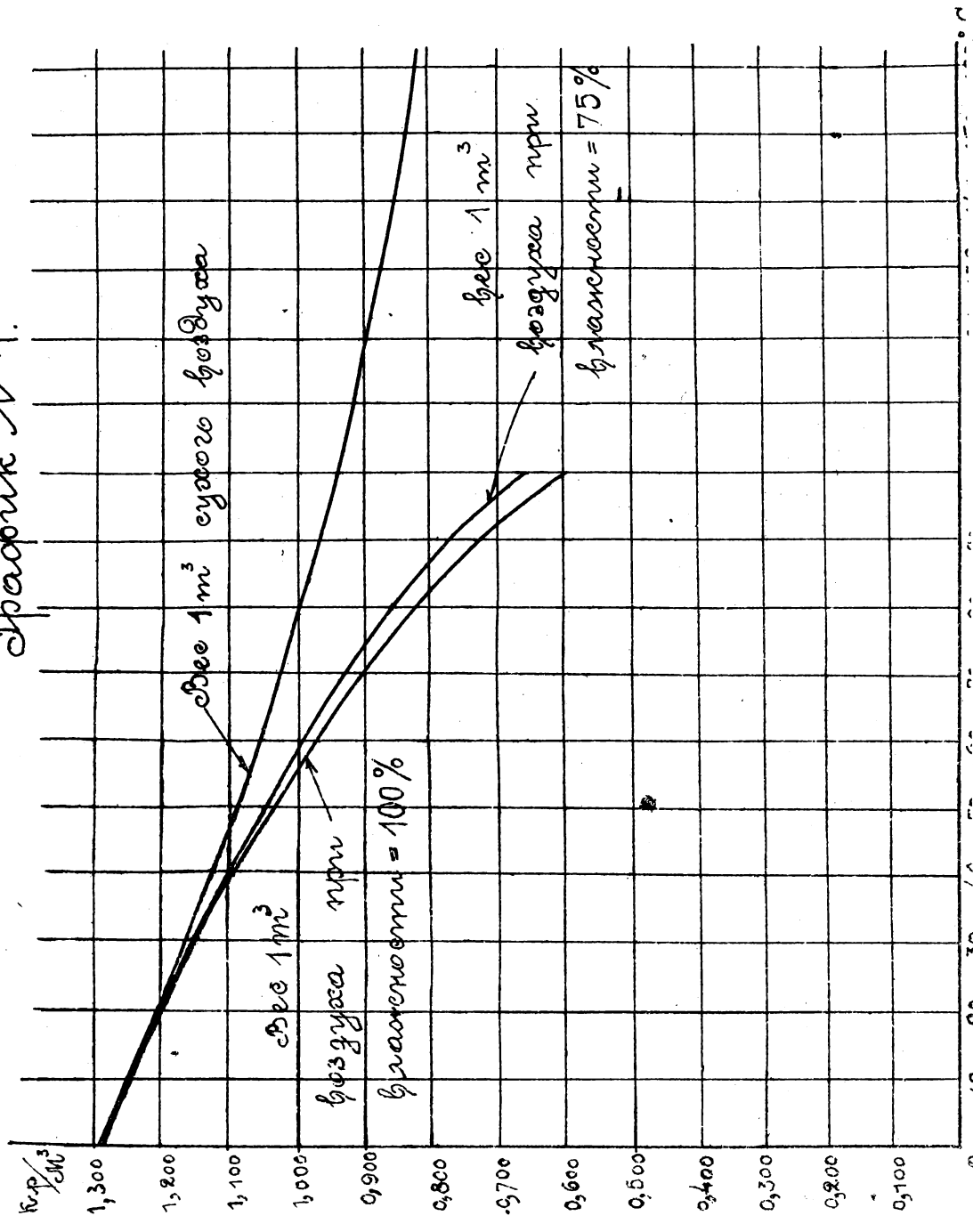
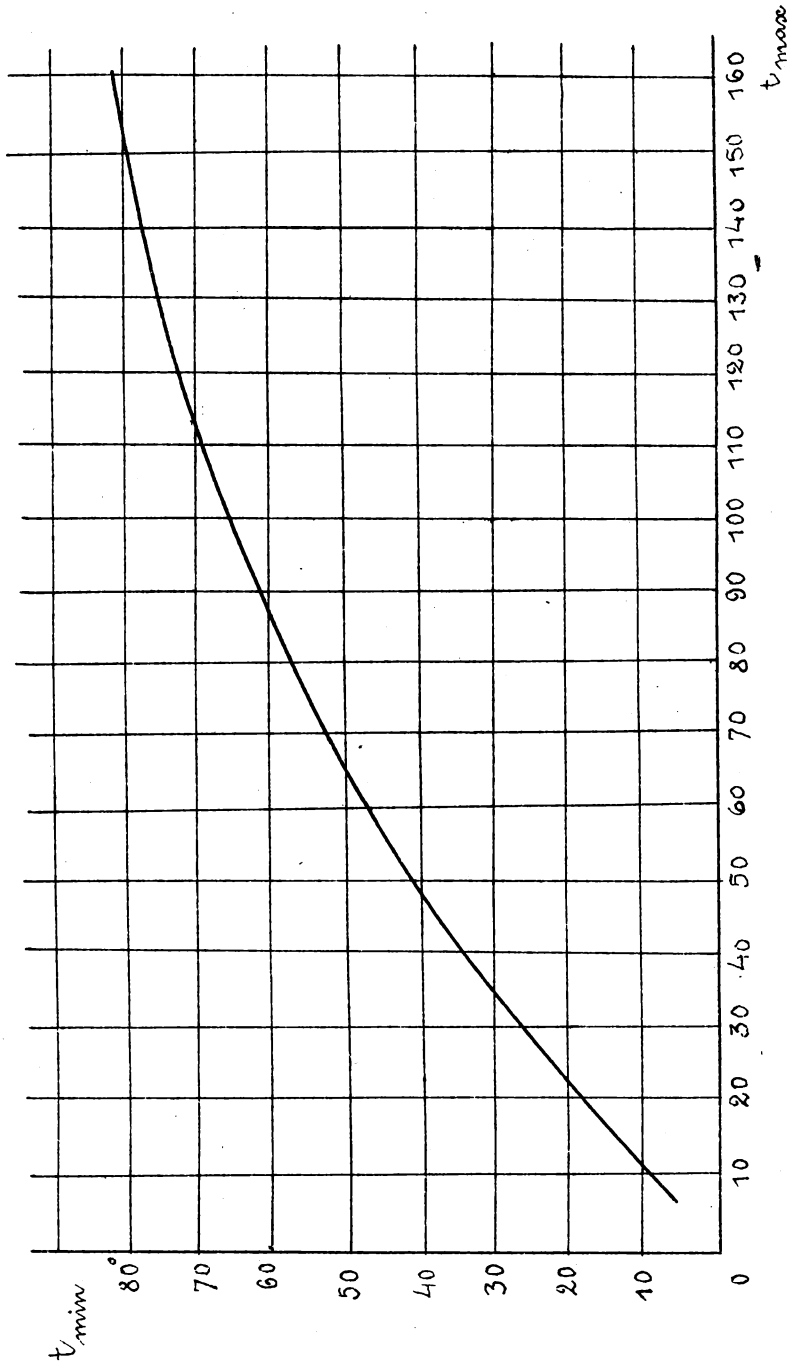




График № 2.

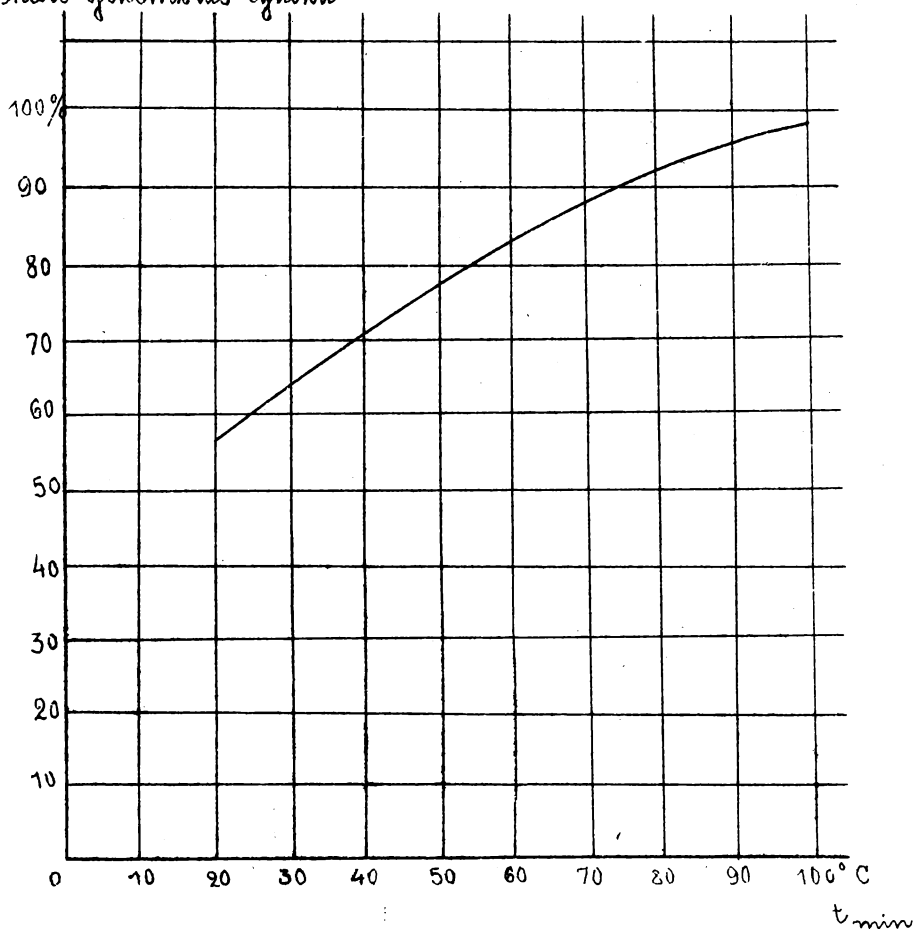






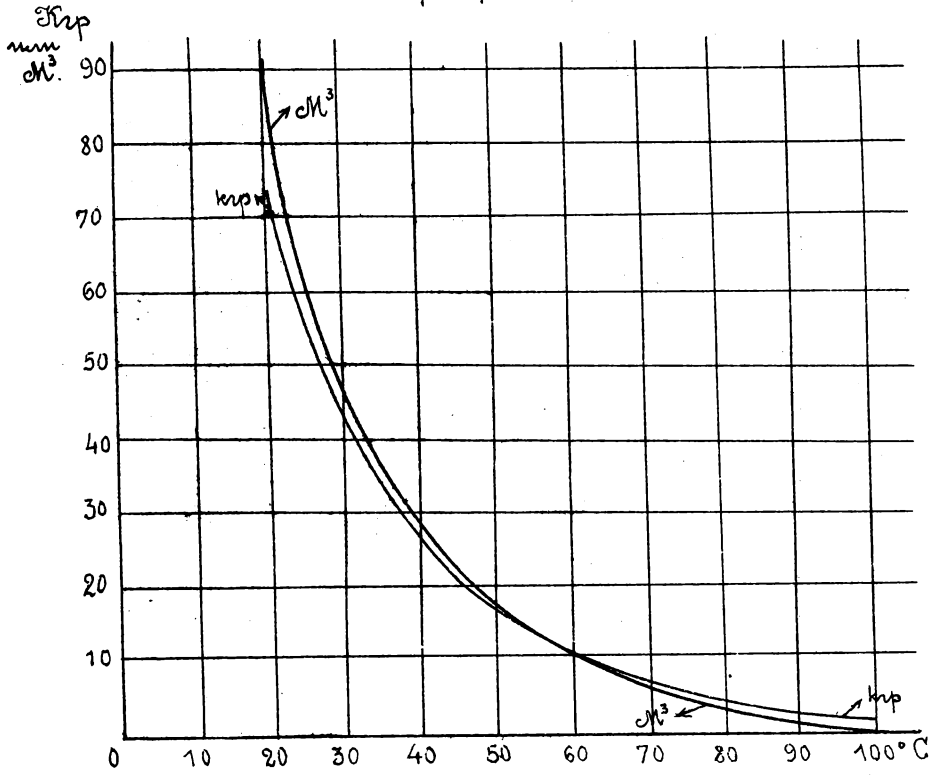
k - коэффициент  
повторного действия цикла

График № 3



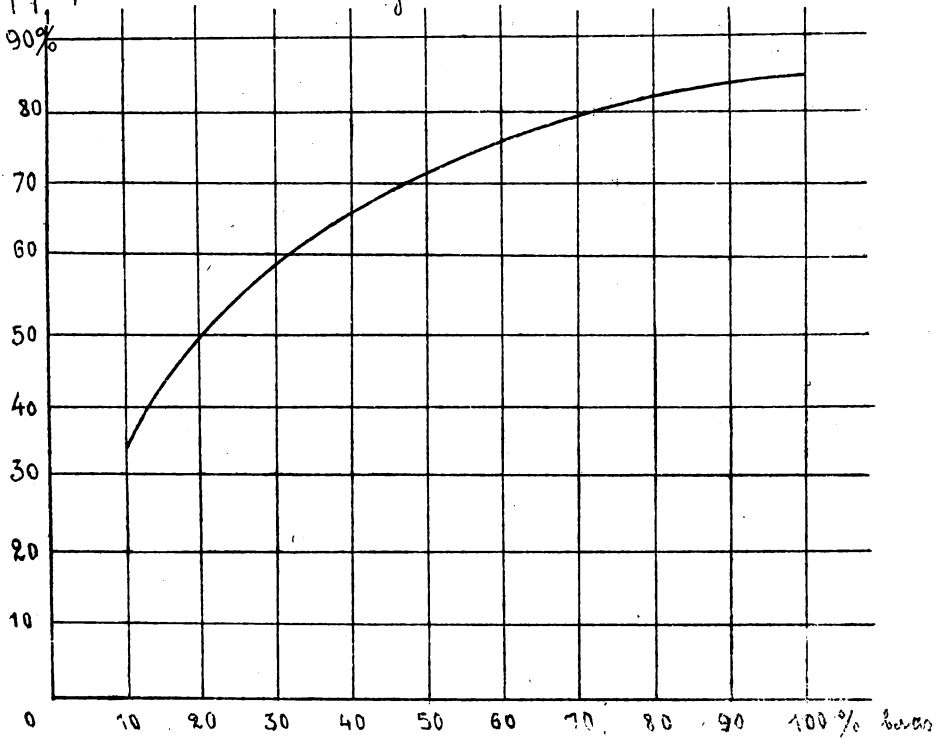


# График № 4



# График № 5.

коэффициент по действующему





спадрук ~ 6.

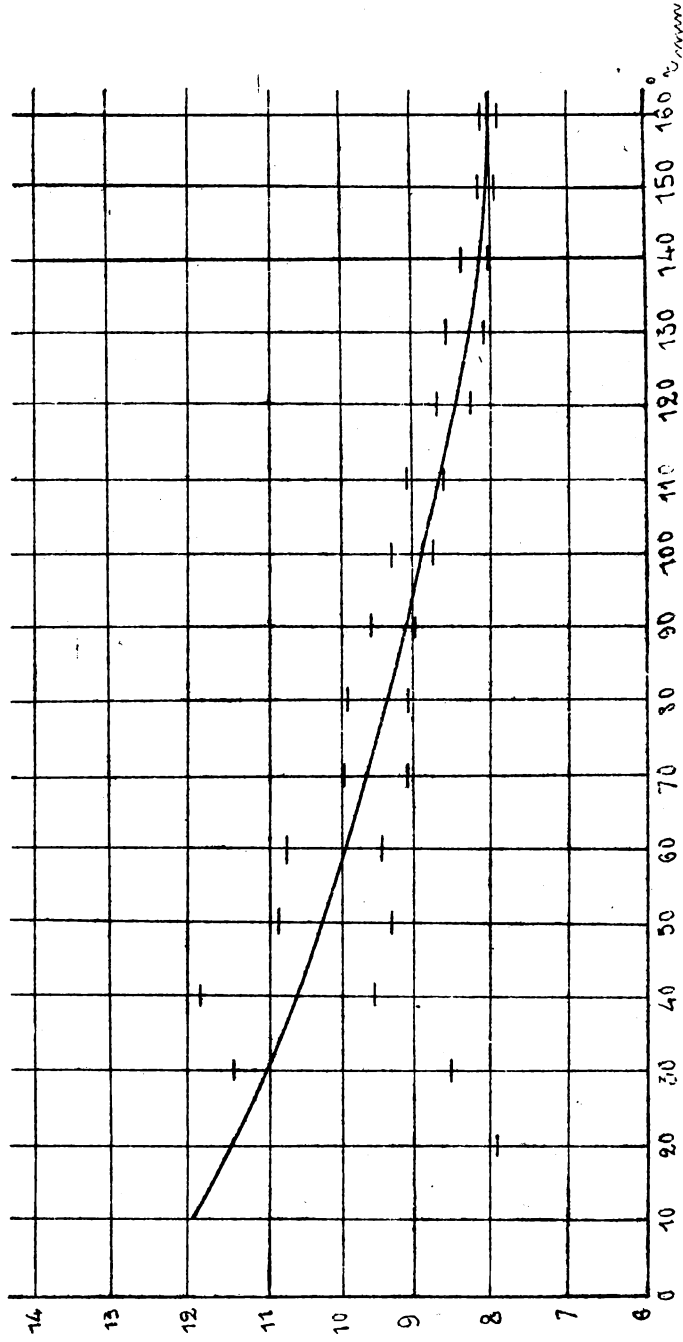
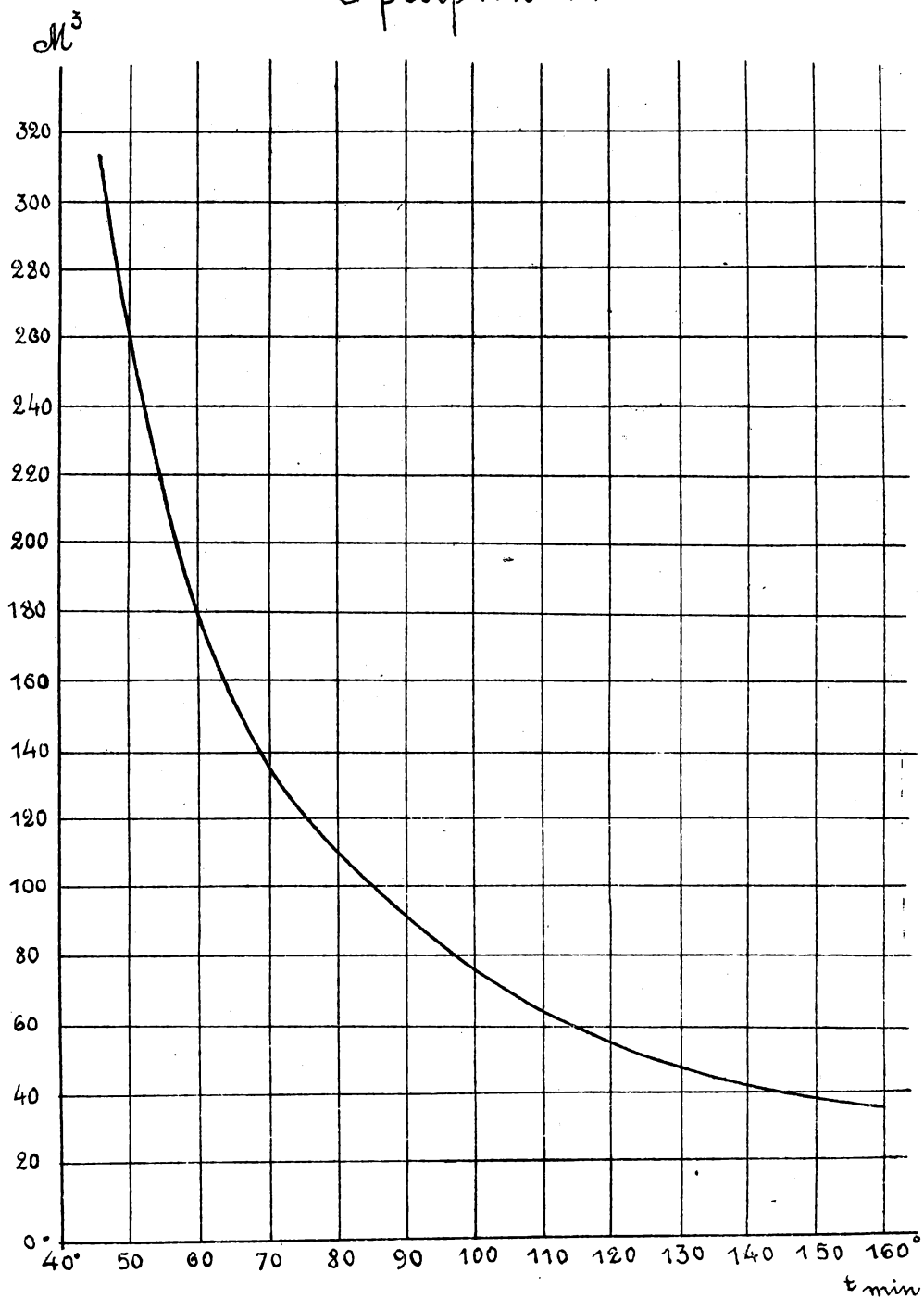


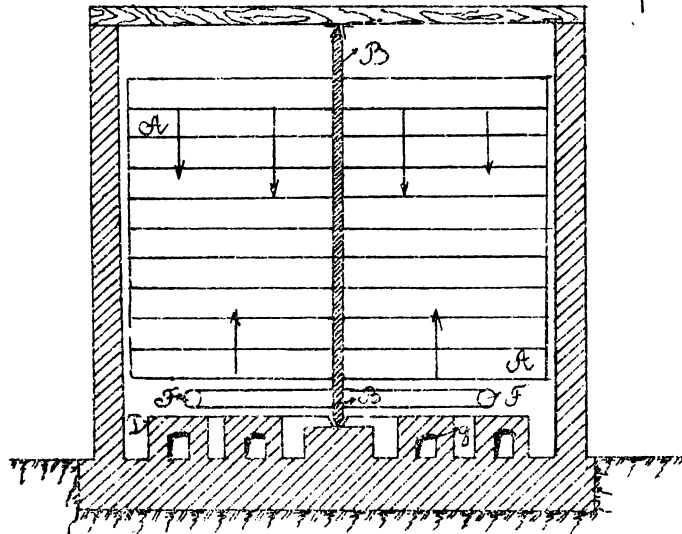
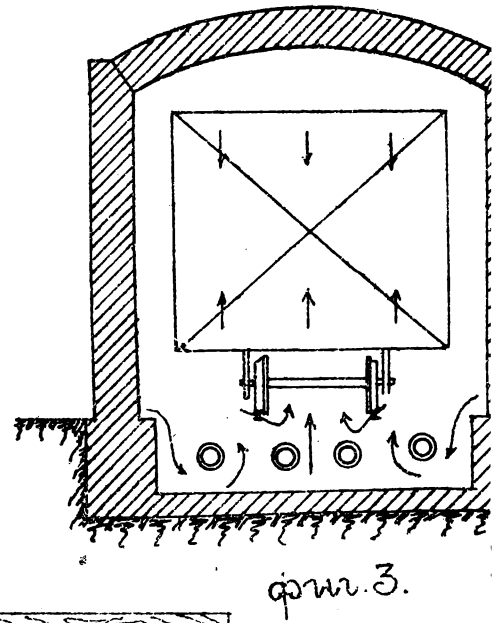
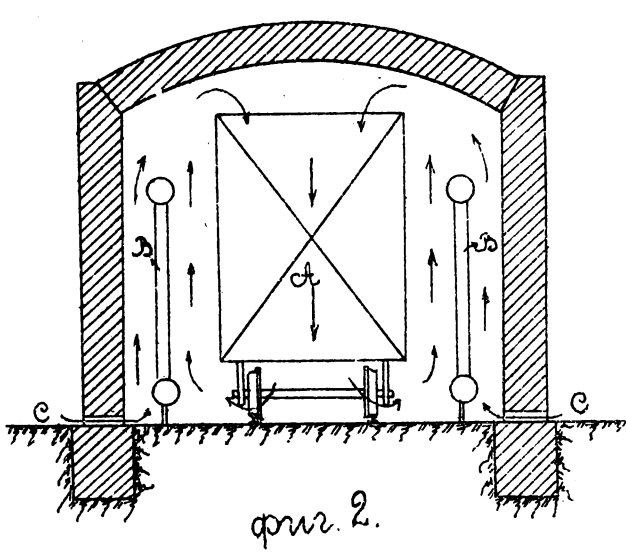
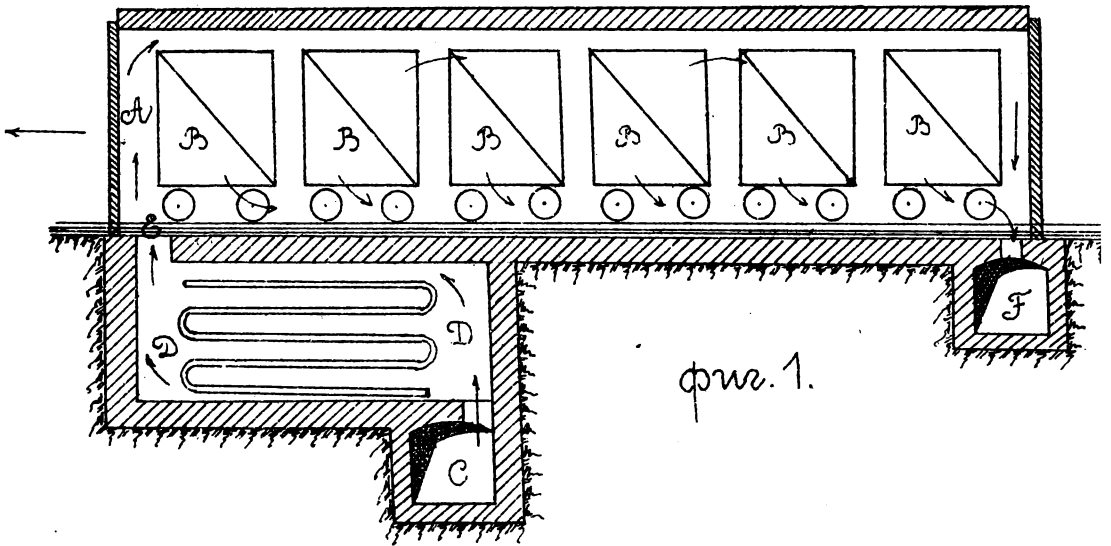


График n 7.

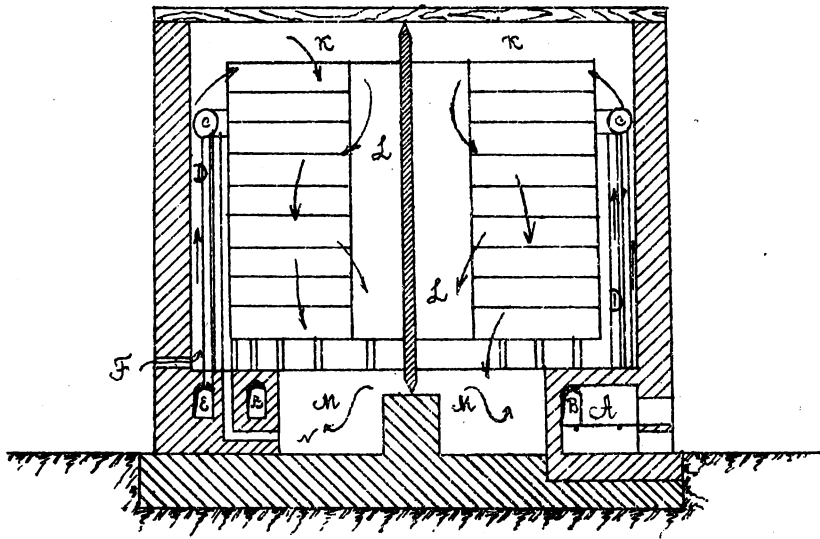




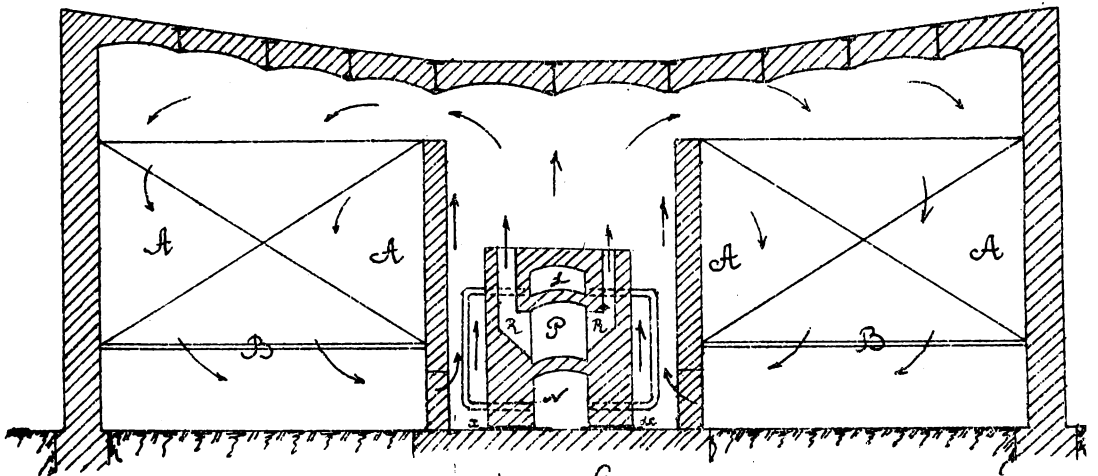




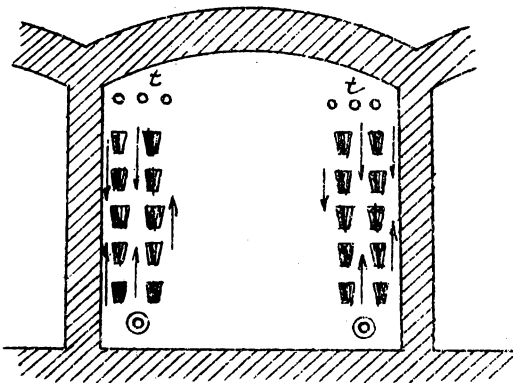




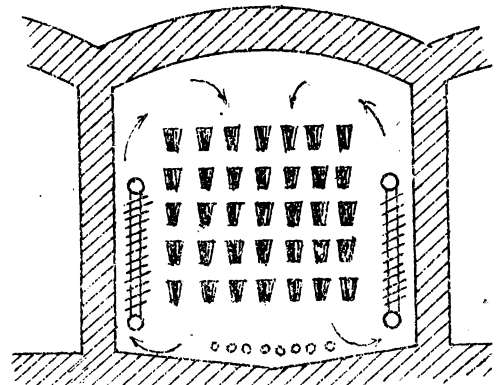
фиг. 5



фиг. 6.



фиг. 7



фиг. 8.

